

文章编号:1673-5005(2025)02-0042-14

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2025.02.004

鄂尔多斯盆地庆城油田 Z211 井区长 6 油组湖底扇 多级次砂体构型表征

刘瑞璟^{1,2}, 岳大力^{1,2}, 白 斌³, 王武荣^{1,2}, 侯秀林³, 赖桢媛^{1,2},
董若婧³, 李 伟^{1,2}, 李 桢⁴, 吴胜和^{1,2}

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018)

摘要:选取鄂尔多斯盆地庆城油田 Z211 井区为解剖区,应用研究区丰富的岩心、测井、地震及生产动态资料,在精细等时地层格架的基础上,采用“层次分析、多维互动、直井与水平井结合”的构型解剖方法,表征长 6 油组湖底扇不同级次的砂体构型。结果表明:湖底扇构型可细分为单一湖底扇、复合朵叶体组合、复合朵叶体、单一朵叶体及其内部增生体共 5 个级次;单一湖底扇由多期复合朵叶体组合垂向叠置而成,复合朵叶体组合由多期复合朵叶体侧向组合而成,复合朵叶体由具有统一供水道道的多个单一朵叶体补偿叠置而成;单一朵叶体叠置样式和定量规模与短期基准面旋回有关;基准面低位时期,单一朵叶体连片补偿叠置沉积,规模更大,形态呈饱满的“纺锤状”;基准面高位时期,单一朵叶体孤立式沉积或部分补偿叠置沉积,规模更小,形态呈欠饱满的“窄带状”;基于构型解剖结果,建立指状朵叶与扇状朵叶 2 种湖底扇三维构型模式。研究成果对丰富湖相重力流沉积构型理论及油田下一步高效开发具有重要意义。

关键词:湖底扇;单一朵叶体;砂体构型;鄂尔多斯盆地;庆城油田;长 6 油组

中图分类号:P 618.13

文献标志码:A

引用格式:刘瑞璟,岳大力,白斌,等.鄂尔多斯盆地庆城油田 Z211 井区长 6 油组湖底扇多级次砂体构型表征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2025,49(2):42-55.

LIU Ruijing, YUE Dali, BAI Bin, et al. Multilevel sand architecture characterization of sub-lacustrine fan in Chang_6 member, Z211 area, Qingcheng Oilfield, Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2025, 49(2):42-55.

Multilevel sand architecture characterization of sub-lacustrine fan in Chang_6 member, Z211 area, Qingcheng Oilfield, Ordos Basin

LIU Ruijing^{1,2}, YUE Dali^{1,2}, BAI Bin³, WANG Wurong^{1,2}, HOU Xiulin³, LAI Zhenyuan^{1,2},
DONG Ruojing³, LI Wei^{1,2}, LI Zhen⁴, WU Shenghe^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing),
Beijing 102249, China;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

4. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China)

Abstract: A detailed case study of the Z211 area in the Qingcheng Oilfield, Ordos Basin, was conducted to analyze the depositional architecture of the sub-lacustrine fan in the Chang_6 member. Utilizing extensive core data, well logs, seismic interpreta-

收稿日期:2024-10-27

基金项目:中国石油天然气集团有限公司-中国石油大学(北京)战略合作科技专项项目(ZLZX2020-02);国家自然科学基金项目(42272186);国家自然科学基金青年科学基金项目(42302128)

第一作者:刘瑞璟(1996-),男,博士研究生,研究方向为油气田开发地质。E-mail:lj13051326866@163.com。

通信作者:岳大力(1974-),男,教授,博士,博士生导师,研究方向为油气田开发地质。E-mail:yuedali@cup.edu.cn。

tion, and production dynamics, the study employs a fine-scale isochronous stratigraphic framework combined with the methods of hierarchical analysis, multi-dimensional interaction, vertical-horizontal well integration to characterize the sub-lacustrine fan at different hierarchical levels. The results indicate that the architecture of sub-lacustrine fan can be subdivided into five levels: individual sub-lacustrine fan, lobe complex set, lobe complex, individual lobe, and accretion. The individual sub-lacustrine fan is formed by the vertical stacking of multiple lobe complex sets, each of which consists of lobe complex deposits. A lobe complex comprises multiple individual lobes sharing a unified supply channel and follows a compensational superimposition pattern. The superimposition patterns and quantitative scales of individual lobes are controlled by short-term base-level cycles. During low base-level periods, individual lobes exhibit continuous compensational stacking, forming larger-scale deposit with a well-developed "fusiform" shape. In high base-level periods, individual lobes are either isolated or partially compensationally stacked, resulting in smaller-scale deposits with a "narrow belt" shape. Based on architecture characterization, two three-dimensional depositional models of sub-lacustrine fans were established, which included finger-shaped lobe sub-lacustrine fan and fan-shaped lobe sub-lacustrine fan. This findings of this study contribute significantly to the understanding of lacustrine gravity flow sedimentary architecture and provide valuable insights for the efficient development of oilfields.

Keywords: sub-lacustrine fan; individual lobe; sand architecture; Ordos Basin; Qingcheng Oilfield; Chang_6 member

近年来,致密油、页岩油勘探开发不断取得突破,已成为非常规石油发展的热点。中国拥有丰富的致密油储量,致密油技术可采资源量达 44.8×10^8 t,位居世界第三位^[1-2],主要分布于鄂尔多斯、松辽、准噶尔和渤海湾等沉积盆地^[2-4],是中国油气稳产增产的重要资源保障。深水重力流沉积是致密油富集的有利场所,已受到广大地质工作者的重视^[5-8]。湖底扇是指沉积物受季节性洪水或地震、火山等构造因素触发,在重力作用驱动下沿斜坡进入湖泊深水区形成的扇形沉积体^[9-11]。广泛发育于陆相湖盆的湖底扇沉积体是深水重力流沉积的重要组成部分。因此开展湖底扇储层研究对致密油气勘探开发具有重要的现实意义。近十年来,关于湖底扇的研究已经取得较大的进展。学者们依据湖盆类型、岩性特征、沉积成因等不同因素建立多样化的湖底扇沉积模式^[9-16]。对于湖底扇砂体构型叠置样式以及定量规模也开展一定的研究^[15,17-20]。然而由于陆相湖盆通常具有规模小、水体相对较浅、多物源、近物源以及构造活动强烈等特征^[16,21-22],造成湖底扇内部多期砂体相互切叠,内部结构非均质性强,给储层构型研究带来极大的挑战。相较于河流相、三角洲相等沉积体系,湖底扇储层构型表征研究相对滞后^[23],多级次构型之间的相互关系认识不清;仍然缺乏行之有效的湖底扇构型表征方法,已有的湖底扇单砂体构型解剖仅对单砂体侧向边界进行识别^[15],制约湖底扇致密油的高效开发。因此亟需探索一套合适的湖底扇多级次构型表征方法,厘清不同级次砂体构型样式,为湖底扇砂体构型研究提供支撑。笔者以鄂尔多斯盆地庆城油田 Z211 井区延长组长 6 油组为研究对象,充分利用研究区岩心、测井、地震及生产动态资料,在精细等时地层格架

建立的基础上,对湖底扇不同级次构型单元进行表征,明确湖底扇多级次砂体构型特征,并建立湖底扇三维构型模式。

1 地质概况

1.1 区域构造位置及开发现状

鄂尔多斯盆地是一个多旋回叠合盆地,可分为渭北隆起、伊陕斜坡、晋西挠褶带、伊盟隆起、天环坳陷和西缘逆冲带 6 个一级构造单元,总面积约为 32×10^4 km²(图 1(a))^[24]。庆城油田 Z211 井区位于伊陕斜坡西南部(图 1(a)),面积约为 784 km²。研究区基础资料丰富,共钻井 696 口,其中水平井 194 口(图 1(b))。东部密井网区为单砂体构型重点解剖区,总井数 379 口,平均井距约为 250 m(图 1(b))。研究区中西部为三维地震覆盖区,面积约为 414 km²,主频为 35 Hz,频宽为 9~60 Hz,另有 5 条二维地震测线贯穿全区(图 1(b))。研究区及其附近地区取芯井 9 口(图 1(a)、(b)),总取芯长度为 472.4 m。

1.2 沉积背景

受研究资料及传统认识的限制,早期普遍认为鄂尔多斯盆地延长组地层呈垂向加积式沉积,在地层对比时采取“平对”的方法^[24-26]。近年来,不少学者研究认为延长组地层不是简单的“千层饼式”垂向加积发育,而是“进积式”不等厚分布^[27-30]。本研究将地震资料与井资料结合,在研究区范围内自下而上识别并追踪 10 个砂组(命名为 1~10 砂组)(图 1(d)),地层范围对应于传统分层的长 7 油组至长 1 油组。目的层长 6 油组主要对应于 5 砂组及部分 4 砂组地层(图 2)。目的层沉积时期长期基准面持续上升(图 2(a),据文献[31],有修改)^[31],

见槽状交错层理、楔状交错层理等沉积构造(图 4(a));垂向上呈正韵律(图 4(b));GR 测井曲线呈锯齿状的钟形或箱形;厚度通常大于 3 m(图 3(a))。支水道离物源较远,岩性相较于主水道更

细,主要为细砂岩、粉砂岩,夹有薄层泥岩(图 4(f));常见槽状交错层理、块状构造等沉积构造(图 4(c));垂向上呈正韵律;GR 测井曲线呈钟形;厚度规模较小,通常介于 2~4 m(图 3(b))。

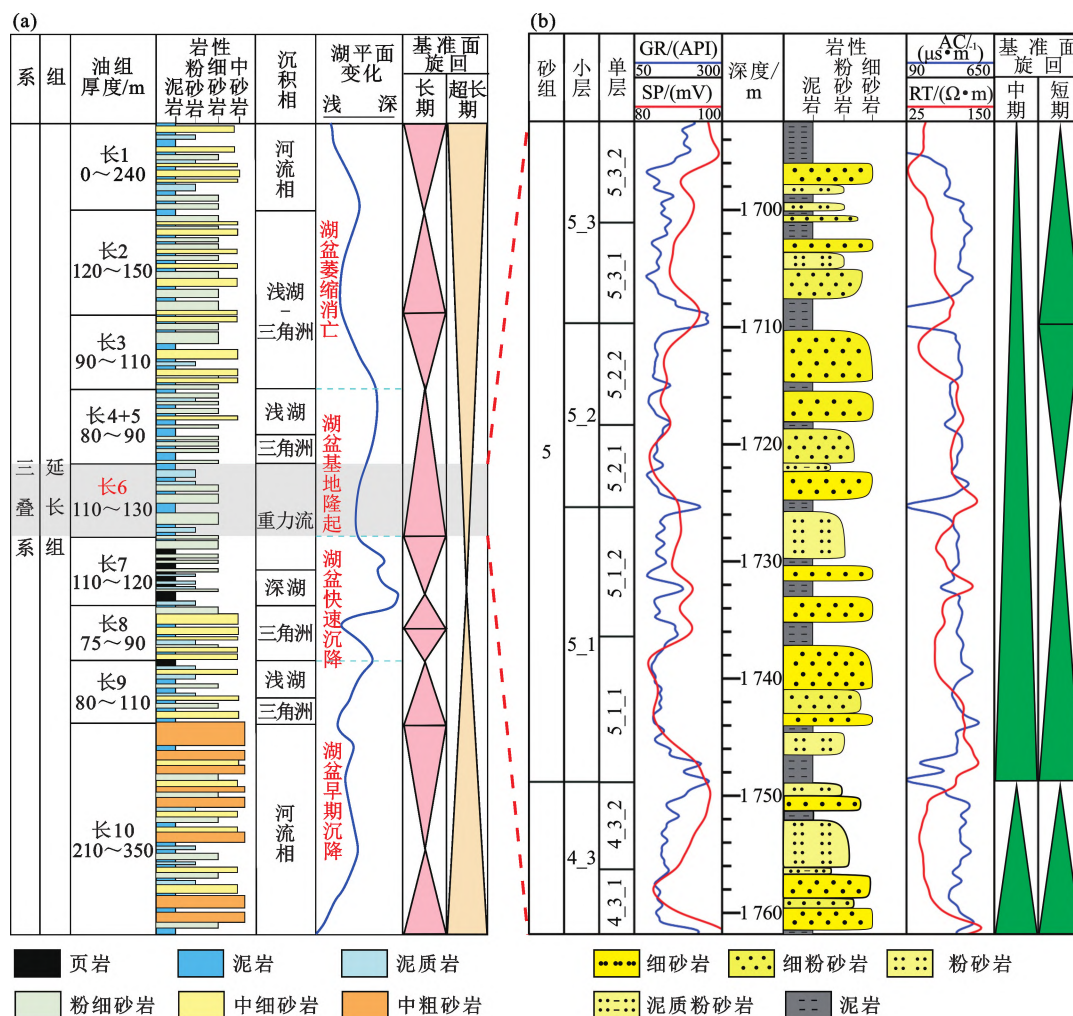


图 2 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积特征及目的层岩电特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of Triassic Yanchang Formation and core-logging characteristics of target layer in Ordos Basin

综合考虑砂体厚度、粒度、储层物性^[34]等差异,将朵叶体沉积细分为朵叶主体与朵叶侧缘。朵叶主体岩性主要为细砂岩、粉砂岩(图 4(e));受压实作用与胶结作用影响较小,储层物性好^[34];连续多段的块状构造为其典型的沉积构造类型(图 4(e)),同时可见槽模、沟模、泥砾、火焰状构造等(图 4(i));垂向上呈反韵律;GR 测井曲线呈漏斗形;厚度通常大于 2 m(图 3(c))。朵叶侧缘岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩(图 4(g));砂岩

分选差,受压实作用与胶结作用影响较大,储层物性较差^[34];无明显韵律特征;GR 测井曲线呈指状;厚度介于 1~2 m(图 3(d))。

滑塌体主要为细砂岩、粉砂岩沉积;多见包卷构造、滑塌变形构造等(图 4(j));无明显韵律特征;厚度介于 1~5 m(图 3(e))。朵叶间/水道间岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩,部分夹有厚度小于 1 m 的薄层砂岩(图 4(h));无明显韵律特征;GR 测井曲线近平直(图 3(f))。

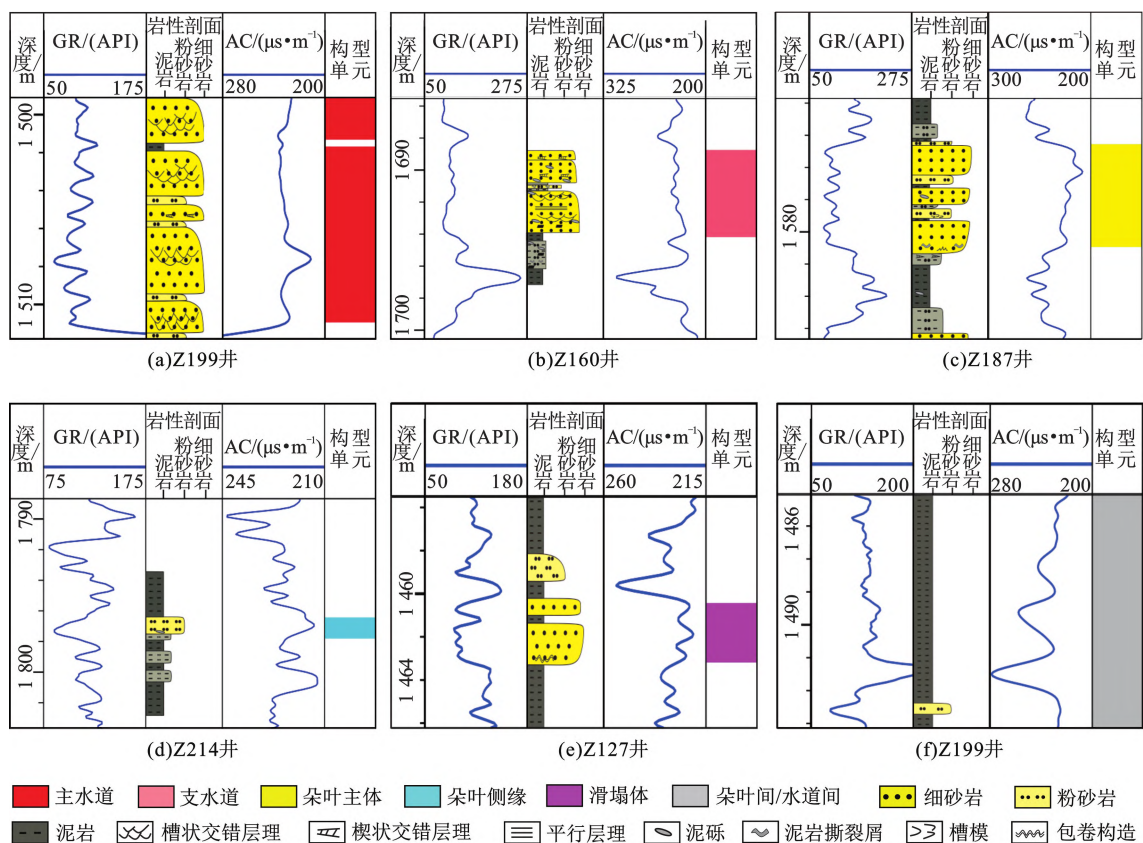


图 3 湖底扇构型单元类型及特征

Fig. 3 Types and characteristics of sub-lacustrine fan architecture units

3 复合砂体构型表征

3.1 湖底扇构型级次划分方案

复杂地质沉积体具有层次结构性^[35-36],厘清不同级次构型间的相互关系是开展构型分析的重点。考虑到研究区湖底扇砂体发育特点和沉积特征,以

吴胜和教授等^[35]提出的碎屑沉积体系构型分级方案为基础,对照海底扇构型级次划分方案^[37],提出湖底扇构型级次划分方案,将湖底扇沉积细分为单一湖底扇、复合朵叶体组合、复合朵叶体、单一朵叶体及其内部增生体共 5 个级次(表 1,模式图据文献^[37],有修改)。单一湖底扇由多期复合朵叶体组

表 1 湖底扇构型级次划分

Table 1 Architecture levels of sub-lacustrine fan

构型级别	构型单元	模式图	经典层序地层级别	地层对比单元
层序 构型	5 单一湖底扇		准层序	小层
	6 复合朵叶体组合		层组	单层
相构 型	7 复合朵叶体		层组	单层
	8 单一朵叶体		层组	单层
	9 增生体		—	—

合垂向叠置而成,一般发育在准层序内部。复合朵叶体组合垂向上为单一朵叶体沉积或由多期单一朵叶体不完全叠置沉积,侧向上通常包含多期复合朵叶体沉积。复合朵叶体一般由具有统一供给水道的

多个单一朵叶体补偿叠置而成。单一朵叶体由单一水道供源形成,是最基本的朵叶成因单元,垂向上由多期增生体叠置而成。复合朵叶体组合、复合朵叶体与单一朵叶体大体发育在层组内部。

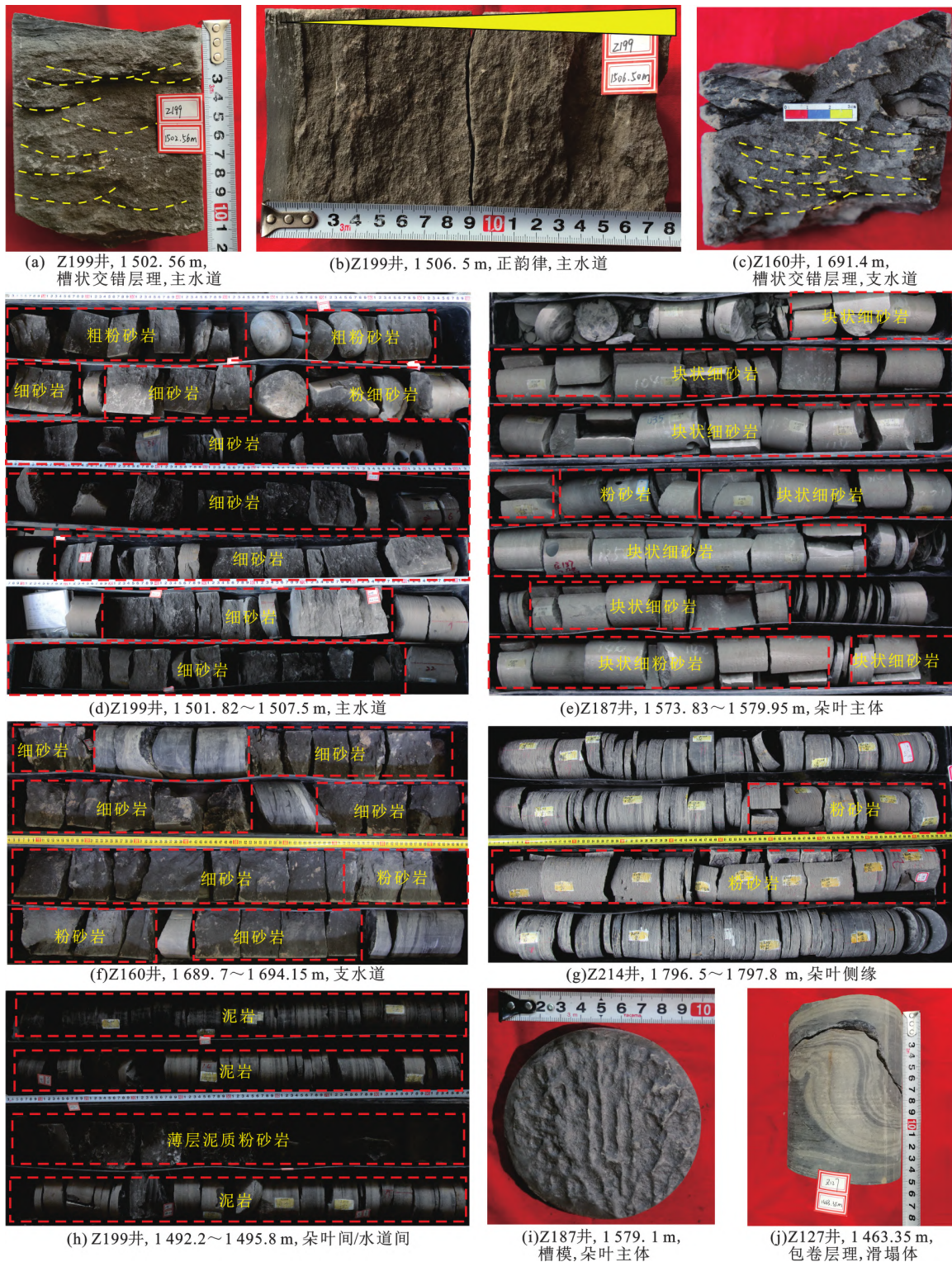


图 4 湖底扇构型单元典型岩心照片

Fig. 4 Typical core photos of sub-lacustrine fan architecture units

3.2 复合砂体构型分布特征

地下构型解剖的级次受可用资料及构型单元绝对规模的双重影响^[35]。综合考虑研究区沉积特征^[15,32]、资料基础及开发现状,采用“层次分析、多维互动、直井与水平井结合”的方法^[15,38],对湖底扇5~8级构型逐级进行解剖,明确不同级次构型分布特征。

研究区小层内部发育单一湖底扇沉积(图5(a)~(c))。目的层沉积时期受相对坡折带的影响发育二级湖底扇沉积,相对坡折带以水道间泥岩沉

积为主,条带状的主水道连接一级与二级湖底扇;支水道顺物源方向呈树形分叉形态;朵叶主体呈扇状分布,是湖底扇的主要构型单元;朵叶侧缘呈裙带状发育于朵叶主体边缘(图5(a)~(c))。密井网区单层内部发育复合朵叶体组合沉积,由复合朵叶体连片叠置而成,复合朵叶体之间由顺物源方向不连续的朵叶间泥岩或朵叶侧缘分隔(图5(d)、(e))。密井网区不同单层构型单元发育程度具有差异(图5(d)、(e))。随短期基准面的上升,朵叶主体沉积变少,朵叶侧缘与朵叶间沉积更为连续(图5(d)、(e))。

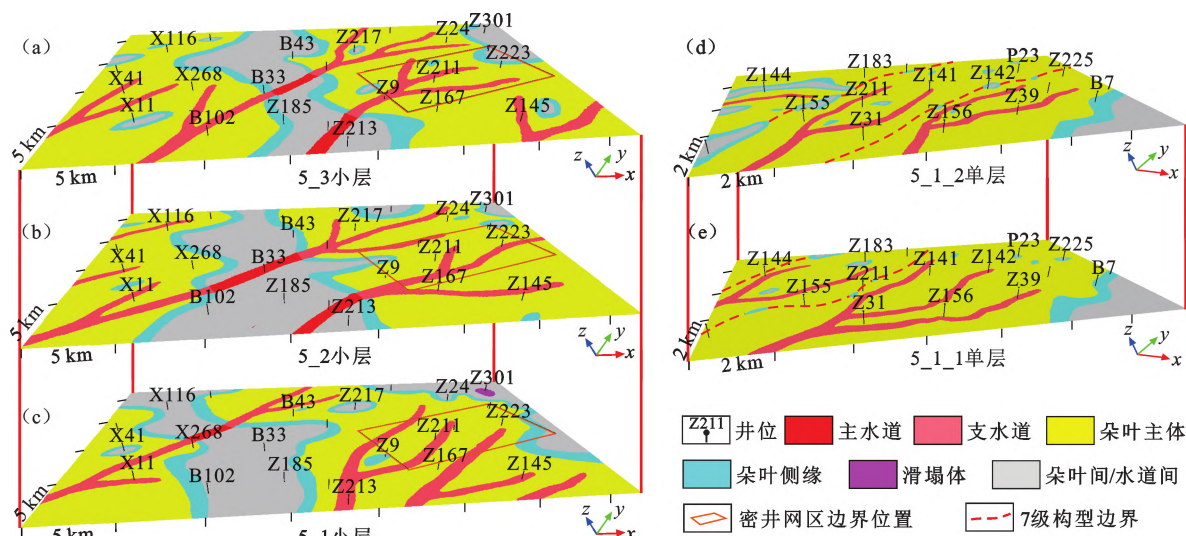


图5 Z211井区小层与密井网区单层复合砂体构型分布

Fig. 5 Architecture distribution of composite sand bodies of Z211 area and dense well area

4 单砂体构型表征

4.1 单砂体识别

单砂体是最低的构型解剖级次,准确识别单砂体边界是其构型表征的基础。采用“直井与水平井结合”的方法识别单砂体边界,并根据丰富的生产动态资料对识别出的单砂体边界进行验证并做优化调整,得到各单层单砂体识别结果。

4.1.1 单砂体边界识别

水平井能够充分反映横向地质信息,将其与邻近直井互动分析,可准确识别单砂体边界。如水平井GP24-41井水平段钻遇184 m的大段泥岩,而大段泥质隔挡体可作为单砂体边界识别标志^[15],因此判断与其相邻的X27-61井与X35-46井钻遇2个不同的单一朵叶体沉积(图6)。

在密井网区亦可利用小井距开发井建立多条联动剖面识别单砂体边界位置(图7)。如垂直物源的AA'剖面与CC'剖面分别钻遇①号与②号单砂体;而

BB'剖面与DD'剖面钻遇2套叠置薄砂体,因此初步判断BB'剖面与DD'剖面所在位置为不同单砂体的叠置区域;结合顺物源的EE'剖面砂体钻遇结果与单砂体形态特征,判断该区域发育3套单砂体(图7)。

4.1.2 动态资料验证

根据同一注采井组中注水井与采油井产液量响应关系可验证单砂体边界识别结果是否合理。以X52-45注采井组(图8)为例:X52-45井为注水井,X51-45井与X53-45井为采油井,射孔井段均位于5_1_1单层上部砂体内;在对X52-45井注水后的开采过程中,X51-45井产液量响应明显,而X53-45井产液量基本无变化;说明X51-45井与X52-45井钻遇同一个单砂体,徐53-45井与X52-45井之间存在泥质隔挡体;验证结果与单砂体边界识别结果相同,说明边界识别准确可靠。对验证显示不合适的单砂体边界进行优化调整,得到最终的单砂体识别结果(图9)。

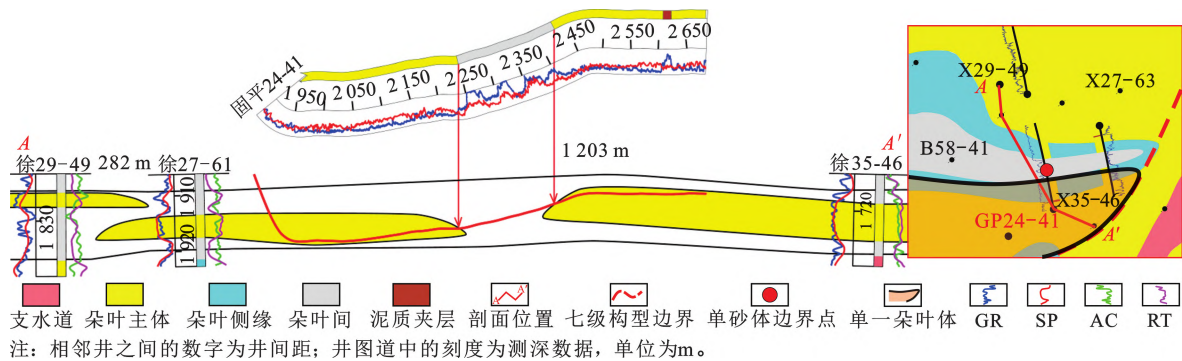


图 6 水平井与邻近直井单砂体构型剖面

Fig. 6 Single sand body architecture profile of horizontal well and surrounding vertical wells

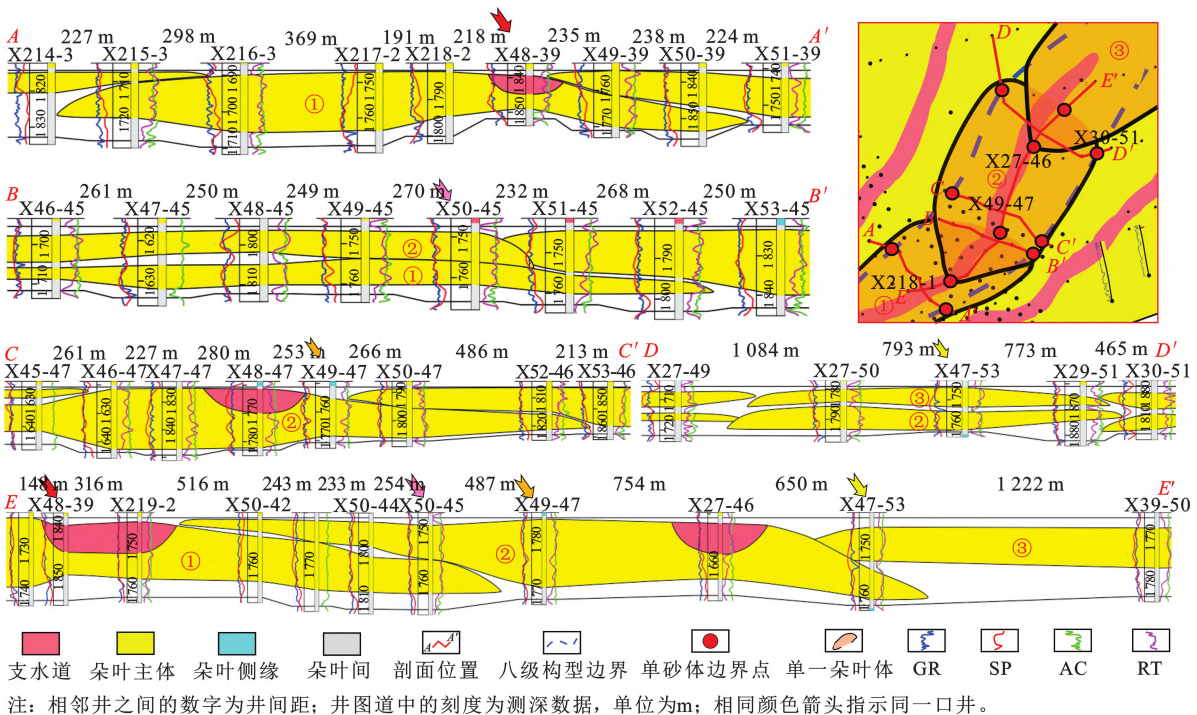


图 7 多剖面联合分析识别单砂体边界

Fig. 7 Identification of single sand bodies boundary by multi-profile joint analysis

4.2 单砂体构型特征

4.2.1 单砂体几何形态特征

单砂体识别结果显示复合朵叶体由多个具有统一供水道道的单一朵叶体组成。单一朵叶体平面上呈“舌状”,具有近端略窄、远端略宽的形态特征;单一朵叶体组合样式包括多个单一朵叶体连续叠置沉积(图 9(a))与侧向孤立式沉积 2 种(图 9(b))。在剖面上,支水道呈“顶平底凸”形态,部分或全部下切朵叶体沉积;朵叶主体呈“底平顶凸”形态,朵叶侧缘呈“指状”发育于朵叶主体边缘(图 10)。

4.2.2 单砂体叠置样式

密井网区单砂体构型剖面显示,单一朵叶体间呈补偿叠置沉积或孤立式沉积(图 10,剖面位置见图 9(a))。补偿叠置指单一朵叶体优先在地势相对

较低的部位发生沉积并相互叠置的现象。单一朵叶体补偿叠置样式主要包括双向摆动式、单向迁移式、退积式、进积式 4 种类型^[15,39]。不同单层单一朵叶体叠置样式存在显著差异,除古地形因素影响外,还与短期基准面旋回有关。

短期基准面低位时期,沉积物供给量多,如 5_1_1 单层。顺物源方向单一朵叶体多为进积式补偿叠置沉积,后期单一朵叶体沉积于前期单一朵叶体前方地势低部位区域(图 10(a))^[15];垂物源方向单一朵叶体呈双向摆动式或单向迁移式补偿叠置样式(图 10(b))^[15,39]。短期基准面高位时期,沉积物供给量少,如 5_1_2 单层、5_3_2 单层。顺物源方向单一朵叶体多为退积式补偿叠置沉积,后期单一朵叶体沉积于前期单一朵叶体后方地势低部位区域

(图 10(a))^[15];垂直物源方向单一朵叶体间泥质侧向隔挡体厚度大,单一朵叶体多呈孤立式沉积或部分侧向叠置沉积(图 10(b))。

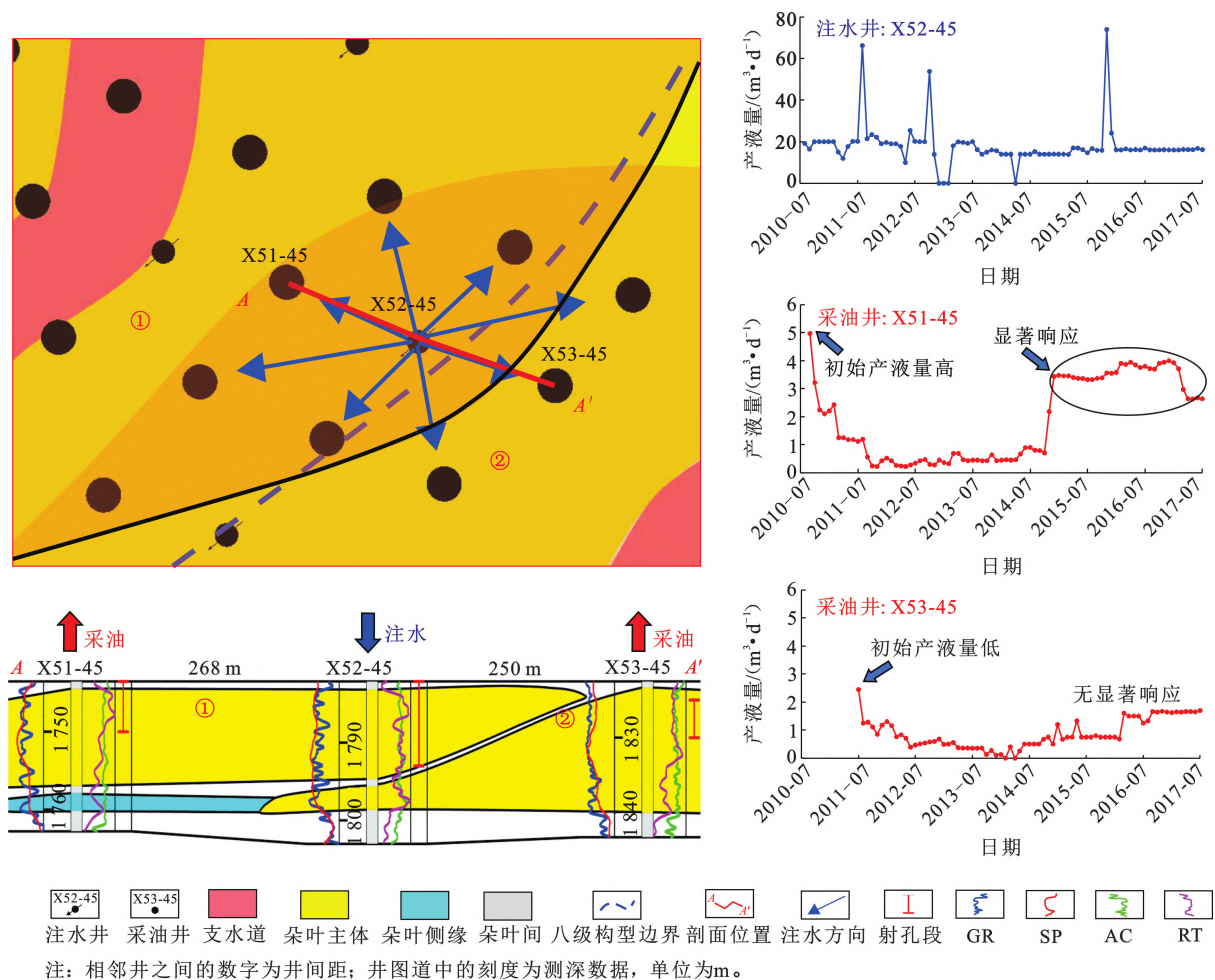


图 8 同一注采井组生产动态曲线及对应单砂体构型分布

Fig. 8 Production dynamic performance logs of injection production wells and relative single sand bodies architecture distribution

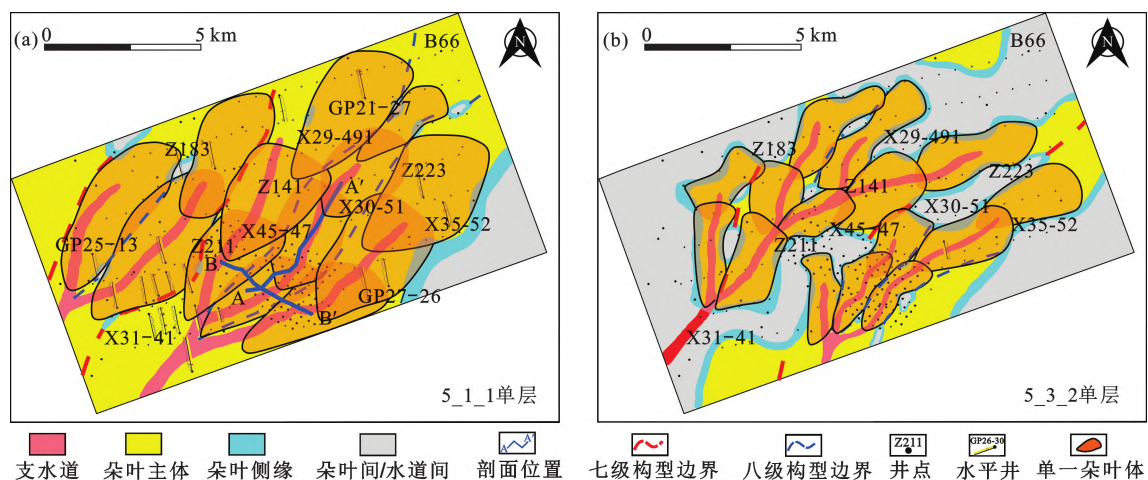


图 9 密井网区 5_1_1 单层与 5_3_2 单层单砂体识别结果

Fig. 9 Identification results of single sand bodies of 5_1_1 and 5_3_2 zone in dense well area

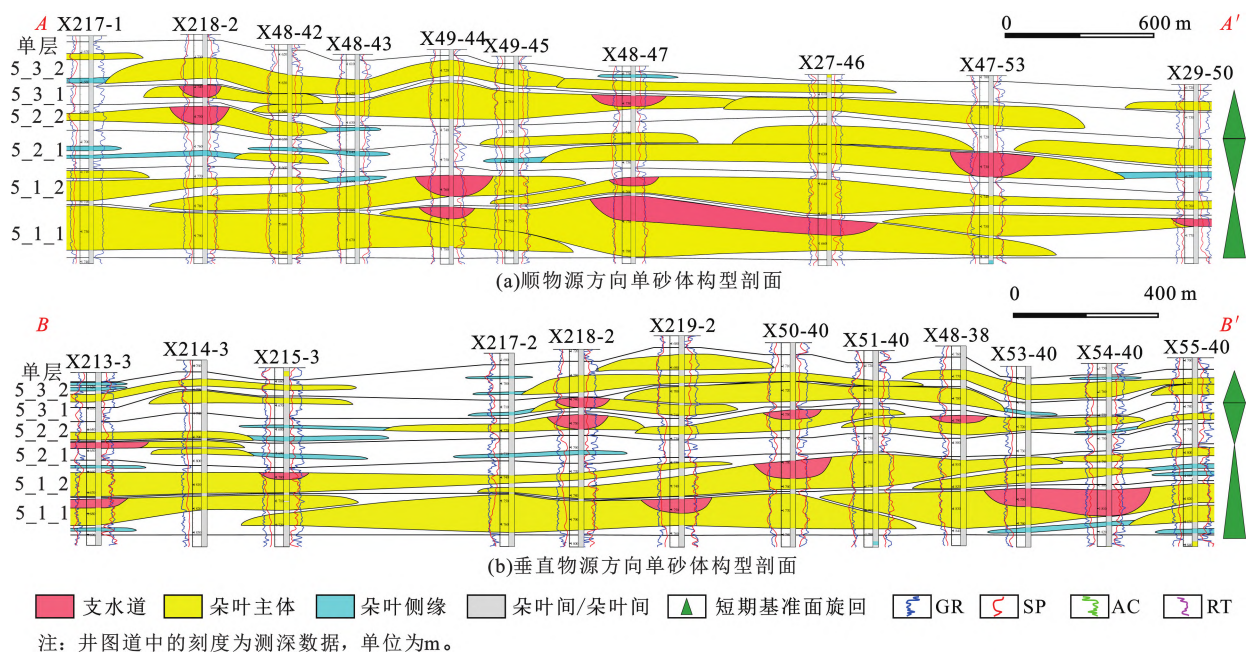


图 10 密井网区 5 砂组各单层顺物源方向与垂直物源方向单砂体构型剖面

Fig. 10 Single sand bodies architecture profiles of 5 sand group along provenance direction and vertical provenance direction in dense well area

4.2.3 单砂体定量规模

开展单砂体定量规模研究有助于地下储层连通性预测,更好的服务于油气勘探开发^[37]。在密井网区 5 砂组各单层单一朵叶体识别结果的基础上,对其规模进行统计分析。结果显示:单一朵叶体最大厚度为 2.9~18.4 m,最大宽度为 880~2760 m,最大长度为 1900~4160 m;单一朵叶体长宽比为 1.56 : 1~1.91 : 1,宽厚比为 160 : 1~201 : 1(表 2)。回归分析表明,单一朵叶体最大宽度与最大厚度、最大

长度与最大宽度之间均呈线性正相关关系,相关性高,皮尔逊相关系数均大于 0.8(图 11)。

单一朵叶体规模与短期基准面旋回有关。短期基准面低位时期,如 5_1_1 单层,单一朵叶体规模更大,长宽比、宽厚比相对更小(表 2,图 11),平面上呈饱满的“纺锤状”(图 9(a));短期基准面高位时期,如 5_3_2 单层,单一朵叶体规模更小,长宽比、宽厚比相对更大(表 2、图 11),平面上呈欠饱满的“窄带状”(图 9(b))。

表 2 湖底扇单一朵叶体定量规模统计

Table 2 Summary of quantitative scale for individual lobe of sub-lacustrine fan

单层	最大厚度/m		最大宽度/m		最大长度/m		长宽比	宽厚比
	分布范围	平均值	分布范围	平均值	分布范围	平均值		
5_3_2	2.9~10.04	6.5	880~1630	1284	1900~2950	2403	1.87 : 1	199 : 1
5_3_1	5.4~11.6	7.0	920~1780	1355	2200~2930	2591	1.91 : 1	194 : 1
5_2_2	5.5~10.9	7.5	1190~1920	1512	2390~3320	2834	1.88 : 1	201 : 1
5_2_1	4.2~9.8	7.2	960~1690	1372	2040~2990	2596	1.89 : 1	191 : 1
5_1_2	8.1~18.3	12.1	1340~2750	1940	2540~3610	3124	1.61 : 1	160 : 1
5_1_1	6~18.4	13.2	1320~2760	2218	2610~4160	3449	1.56 : 1	168 : 1
平均值	—	8.8	—	1603	—	2820	1.78 : 1	186 : 1

4.3 湖底扇三维构型模式

在对研究区目的层湖底扇单砂体形态特征、叠置样式及定量规模进行综合研究的基础上,建立湖底扇三维构型模式(图 12)。研究区湖底扇主要发育主水道、支水道、朵叶主体、朵叶侧缘、滑塌体、朵叶间/水道间共 6 种构型单元;主水道与支水道为湖底扇沉积供源;朵叶主体是湖底扇的主体沉积部分,呈扇状分布;朵叶侧缘呈裙带状发育于朵叶主体边缘;滑塌体

是斜坡与湖底扇前端的小型孤立砂体沉积;受二级坡折带的控制,研究区发育二级湖底扇沉积。

湖底扇构型模式受基准面旋回控制:基准面高位期水体能量弱,发育指状朵叶湖底扇;单一朵叶体规模小,长宽比、宽厚比大,平面形态呈欠饱满的“窄带状”,复合朵叶体呈指状;单一朵叶体侧向多为孤立式沉积,顺物源方向多为退积式补偿叠置沉积。基准面低位期水体能量强,发育扇状朵叶湖底扇;单一朵叶

体规模大,长宽比、宽厚比小,平面形态呈饱满的“纺锤状”,复合朵叶体呈扇状;单一朵叶体侧向连续叠置

沉积,包括单向迁移式补偿叠置与双向摆动式补偿叠置,顺物源方向多为进积式补偿叠置沉积。

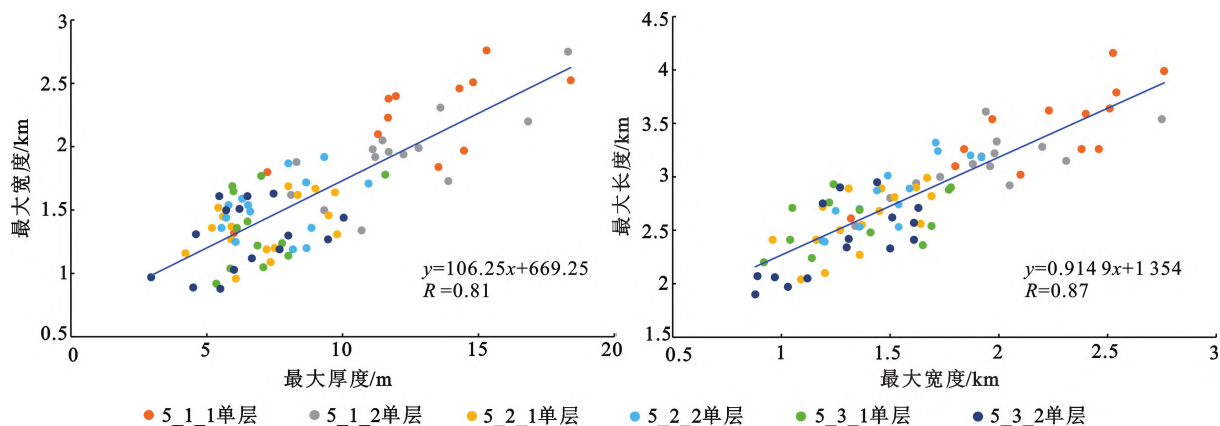


图 11 湖底扇单一朵叶体定量规模关系

Fig. 11 Quantitative scale relationship for individual lobe of sub-lacustrine fan

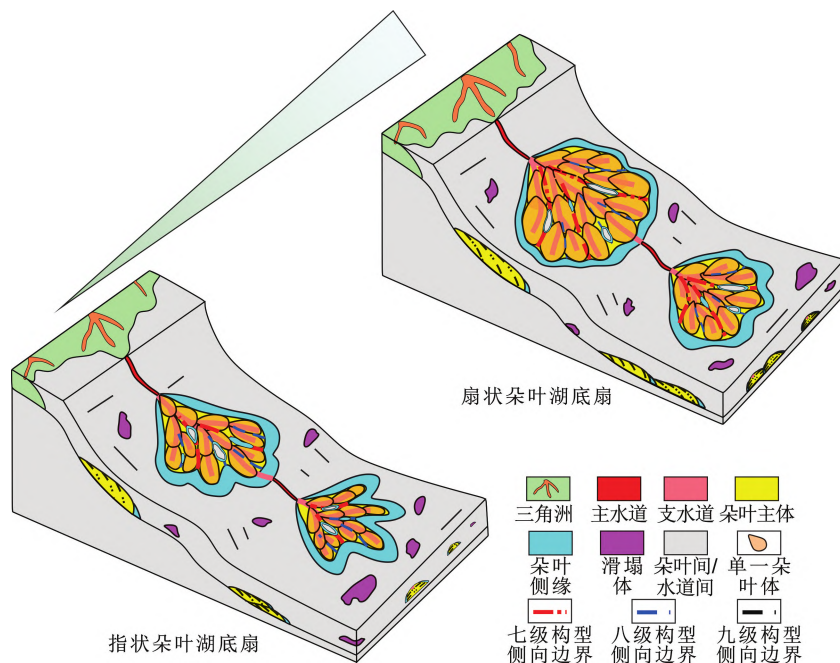


图 12 研究区湖底扇三维单砂体构型模式

Fig. 12 Three-dimensional single sand body architecture model of sub-lacustrine fan in study area

5 结 论

(1) 鄂尔多斯盆地庆城油田 Z211 井区长 6 油组发育湖底扇沉积, 构型单元类型包括主水道、支水道、朵叶主体、朵叶侧缘、滑塌体、朵叶间/水道间共 6 种。受古地貌影响, 在一级湖底扇前端发育二级湖底扇沉积。朵叶主体是湖底扇沉积的主体部分, 呈扇状分布。湖底扇内部构型可细分为单一湖底扇至单一朵叶体内部增生体共 5 个级次。

(2) 基于直井与水平井结合的精细解剖方法有效识别单一朵叶体。单一朵叶体最大宽度、最大厚度与最大长度间相关性高, 平均宽厚比为 186 : 1,

平均长宽比为 1.78 : 1。短期基准面低位时期, 单一朵叶体长宽比、宽厚比相对更小, 呈连片补偿叠置沉积; 短期基准面高位时期, 单一朵叶体长宽比、宽厚比相对更大, 呈孤立式沉积或部分侧向叠置沉积。

(3) 建立湖底扇三维构型模式, 包括指状朵叶湖底扇与扇状朵叶湖底扇 2 种构型发育样式。基准面高位时期水体能量弱, 发育指状朵叶湖底扇, “窄带状”的较小规模单一朵叶体组合形成指状复合朵叶体; 基准面低位时期水体能量强, 发育扇状朵叶湖底扇, “纺锤状”的较大规模单一朵叶体叠置沉积形成扇状复合朵叶体。建立的构型模式可为相邻井区及相似沉积研究区地下储层构型表征提供模式指导。

参考文献:

- [1] 胡素云,朱如凯,吴松涛,等. 中国陆相致密油效益勘探开发[J]. 石油勘探与开发,2018,45(4):737-748.
HU Suyun, ZHU Rukai, WU Songtao, et al. Profitable exploration and development of continental tight oil in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2018,45(4):737-748.
- [2] 高嘉洪,金之钧,梁新平,等. 火山活动对鄂尔多斯盆地三叠系长7段淡水湖盆富营养化与沉积水体介质的影响[J]. 石油与天然气地质,2023,44(4):887-898.
GAO Jiahong, JIN Zhijun, LIANG Xinping, et al. The impact of volcanism on eutrophication and water column in a freshwater lacustrine basin: a case study of Triassic Chang 7 Member in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2023,44(4):887-898.
- [3] 朱筱敏,王晓琳,张美洲,等. 中国典型陆相盆地细粒沉积环境和岩相特征[J]. 石油与天然气地质,2024,45(4):873-892.
ZHU Xiaomin, WANG Xiaolin, ZHANG Meizhou, et al. Sedimentary environments and lithofacies characteristics of fine-grained sediments in typical continental basins in China[J]. Oil & Gas Geology, 2024,45(4):873-892.
- [4] 赵文智,卞从胜,蒲秀刚. 中国典型咸化湖盆页岩油富集与流动特征及在“甜点”评价中的意义[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2023,47(5):25-37.
ZHAO Wenzhi, BIAN Congsheng, PU Xiugang. Enrichment and flow characteristics of shale oil in typical salinized lake basins in China and its significance for "sweet spot" evaluation[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2023,47(5):25-37.
- [5] 田纳新,龚承林,吴高奎,等. 重力流与海底地貌动态相互作用下深水沉积体系发育演化:以大西洋赤道段菩提瓜尔盆地为例[J]. 石油与天然气地质,2024,45(1):15-30.
TIAN Naxin, GONG Chenglin, WU Gaokui, et al. Development of submarine depositional systems under dynamic interplays between sediment gravity flows and sea-floor topography: a case study of the Potiguar Basin on the equatorial Atlantic Ocean[J]. Oil & Gas Geology, 2024,45(1):15-30.
- [6] CRONIN B T, HARTLEY A J, CELIK H, et al. Equilibrium profile development in graded deep-water slopes, Eocene, Eastern Turkey [J]. Journal of the Geological Society of London, 2000,157:943-955.
- [7] 解馨慧,邓虎成,胡蓝霄,等. 湖相细粒沉积岩颗粒微观力学特征及类型划分:以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组7段页岩为例[J]. 石油与天然气地质,2024,45(4):1079-1088.
XIE Xinhui, DENG Hucheng, HU Lanxiao, et al. Micromechanical characteristics and classification of the grains of lacustrine fine-grained sedimentary rocks: a case study of shales in the 7th member of the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2024,45(4):1079-1088.
- [8] 葛云锦,贺永红,许璟,等. 鄂尔多斯盆地长7泥岩生-储-排油特征及演化模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2024,48(2):37-44.
GE Yunjin, HE Yonghong, XU Jing, et al. Source-reservoir-oil characteristics and evolution model of Chang 7 shale in Ordos Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2024,48(2):37-44.
- [9] 刘芬,朱筱敏,李洋,等. 鄂尔多斯盆地西南部延长组重力流沉积特征及相模式[J]. 石油勘探与开发,2015,42(5):577-588.
LIU Fen, ZHU Xiaomin, LI Yang, et al. Sedimentary characteristics and facies model of gravity flow deposits of Late Triassic Yanchang Formation in southwestern Ordos Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015,42(5):577-588.
- [10] 张辉,曾小明,黄冬梅,等. 北部湾盆地涠西南凹陷富砾型和富砂型湖底扇沉积特征差异分析[J]. 石油实验地质,2017,39(5):633-639.
ZHANG Hui, ZENG Xiaoming, HUANG Dongmei, et al. Differences of sedimentary characteristics of sub-lacustrine fans between conglomerate-rich and sand-rich types in the Weixinan Sag, Beibu Gulf Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017,39(5):633-639.
- [11] 张庆石,张革,陈彬滔,等. 松辽盆地坳陷期湖底扇沉积特征与分布规律:以英台地区青山口组为例[J]. 天然气地球科学,2014,25(3):318-325.
ZHANG Qingshi, ZHANG Ge, CHEN Bintao, et al. Deposition characteristics and distribution pattern of sub-lacustrine fan in Qingshankou Formation, Songliao Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2014,25(3):318-325.
- [12] LIU E, WANG H, LI Y, et al. Sedimentary characteristics and tectonic setting of sublacustrine fans in a half-graben rift depression, Beibuwan Basin, South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2014,52(2):9-21.
- [13] 刘建平. 湖相滑塌型与洪水型重力流沉积过程及模式[D]. 北京:中国石油大学(北京),2019.
LIU Jianping. Depositional processes and models of slump-derived and flood-induced gravity flows in Lacustrine Basins: the Eocene Dongying Depression[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.

- jing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.
- [14] 潘树新, 刘化清, ZAVALA Carlos, 等. 大型坳陷湖盆异重流成因的水道-湖底扇系统: 以松辽盆地白垩系嫩江组一段为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(6): 860-870.
- PAN Shuxin, LIU Huaqing, ZAVALA Carlos, et al. Sublacustrine hyperpycnal channel-fan system in a large depression basin: a case study of Nen 1 Member, Cretaceous Nenjiang Formation in the Songliao Basin, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(6): 860-870.
- [15] 屈雪峰, 王武荣, 谢启超, 等. 坳陷湖盆湖底扇储层单砂体构型: 以鄂尔多斯盆地合水地区三叠系长6油层组为例[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(5): 850-867.
- QU Xuefeng, WANG Wulong, XIE Qichao, et al. Single sandbody architecture of sub-lacustrine fan in a depression lacustrine basin: insights from Triassic Chang-6 oil-bearing interval in Heshui area of Ordos Basin, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(5): 850-867.
- [16] 杨田, 操应长, 田景春. 浅谈陆相湖盆深水重力流沉积研究中的几点认识[J]. 沉积学报, 2021, 39(1): 88-111.
- YANG Tian, CAO Yingchang, TIAN Jingchun. Discussion on research of deep-water gravity flow deposition in lacustrine basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2021, 39(1): 88-111.
- [17] 曹江骏, 杨友运, 陈朝兵, 等. 致密砂岩储层骨架砂体构型特征: 以鄂尔多斯盆地合水地区延长组长6段砂体为例[J]. 沉积学报, 2019, 37(6): 1105-1116, 1103.
- CAO Jiangjun, YANG Youyun, CHEN Chaobing, et al. Analysis of configuration characteristics for skeleton sandbody with tight sandstone reservoir: a case study of Triassic Chang 6 members in Heshui area, Ordos Basin, NW China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(6): 1105-1116, 1103.
- [18] 晁储志. 鄂尔多斯盆地瑶曲露头区延长组深水沉积与储层特征[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2018.
- CHAO Chuzhi. Deep water sedimentary and reservoir characteristics in Yanchang Formation of Yaoqu outcrop zone in Ordos Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2018.
- [19] LIU J P, XIAN B Z, WANG J H, et al. Sedimentary architecture of a sub-lacustrine debris fan: Eocene Dongying Depression, Bohai Bay Basin, East China [J]. Sedimentary Geology, 2017, 362: 66-82.
- [20] 张家强, 李士祥, 李宏伟, 等. 鄂尔多斯盆地延长组7油层组湖盆远端重力流沉积与深水油气勘探: 以城页水平井区长7₃小层为例[J]. 石油学报, 2021, 42(5): 570-587.
- ZHANG Jiaqiang, LI Shixiang, LI Hongwei, et al. Gravity flow deposits in the distal lacustrine basin of the 7th reservoir group of Yanchang Formation and deepwater oil and gas exploration in Ordos Basin: a case study of Chang 7₃ sublayer of Chengye horizontal well region [J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(5): 570-587.
- [21] GILLULY J. Geologic contrasts between continents and ocean basins [M]//POLDERVAART A. Crust of the earth: a symposium. New York: Geological Society of America, 1955: 7-18.
- [22] ZHANG X W, SCHOLZ C A. Turbidite systems of lacustrine rift basins: examples from the Lake Kivu and Lake Albert rifts, East Africa [J]. Sedimentary Geology, 2015, 325: 177-191.
- [23] 吴千然, 鲜本忠, 高先志, 等. 强制湖退期湖底扇沉积构型的多样性与砂体分布特征: 以渤海湾盆地东营凹陷沙三段中亚段为例[J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(4): 782-794.
- WU Qianran, XIAN Benzong, GAO Xianzhi, et al. Diversity of depositional architecture and sandbody distribution of sub-lacustrine fans during forced regression: a case study of Paleogene Middle Sha 3 Member in Dongying Sag, Bohai Bay Basin, East China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2023, 50(4): 782-794.
- [24] 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 1-7.
- LI Dsheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 1-7.
- [25] 陈林, 陆永潮, 邢凤存, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组层序地层特征及充填演化模式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(6): 2196-2206.
- CHEN Lin, LU Yongchao, XING Fengcun, et al. Sequence stratigraphy characteristics and filling evolution model of Yanchang Formation in southern Ordos basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2015, 46(6): 2196-2206.
- [26] 陈永峤, 李伟华, 汪凌霞, 等. 鄂尔多斯盆地合水地区延长组-延安组地层分布特征[J]. 地层学杂志, 2011, 35(1): 41-48.
- CHEN Yongqiao, LI Weihua, WANG Lingxia, et al. The distribution features of the Yanchang and Yan'an Formation in Heshui area, Ordos Basin [J]. Journal of

- Stratigraphy, 2011, 35(1):41-48.
- [27] 惠潇,侯云超,陈修,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组层序地层再认识及地质意义[J]. 沉积学报, 2024, 42(5):1553-1567.
- HUI Xiao, HOU Yunchao, CHEN Xiu, et al. New insight into sequence stratigraphy and its geological significance in the Yanchang Formation, Longdong Area, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2024, 42(5):1553-1567.
- [28] 李慧琼. 陇东地区延长组前积层序及有利储层预测[D]. 西安:西北大学, 2017.
- LI Huiqiong. Progradational sequence and reservoir prediction of Yanchang Formation in Longdong area[D]. Xi'an: Northwest University, 2017.
- [29] 王文枫,岳大力,赵继勇,等. 利用地震正演模拟方法研究地层结构:以鄂尔多斯盆地合水地区延长组三段为例[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(2):411-418, 232-233.
- WANG Wenfeng, YUE Dali, ZHAO Jiyong, et al. Research on stratigraphic structure based on seismic forward modeling: a case study of the third member of the Yanchang Formation in Heshui area, Ordos Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2020, 55(2):411-418, 232-233.
- [30] 夏勇,惠潇,赵俊峰,等. 鄂尔多斯盆地西南庆城地区延长组前积斜坡生长及其控砂规律[J]. 沉积学报, 2025, 43(1):273-287.
- XIA Yong, HUI Xiao, ZHAO Junfeng, et al. Clinoform growth and its controls on the distribution of sandstone in the Yanchang Formation, Qingcheng Area, Southwestern Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2025, 43(1):273-287.
- [31] 姚泾利,赵彦德,刘广林,等. 鄂尔多斯盆地三叠系长 9 段多源成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(3):373-384.
- YAO Jingli, ZHAO Yande, LIU Guanglin, et al. Formation patterns of Chang 9 oil reservoir in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3):373-384.
- [32] LIUR J, YUE D L, LI W, et al. Characterization of tight sandstone and sedimentary facies using well logs and seismic inversion in lacustrine gravity-flow deposits[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2024, 259:1-15.
- [33] 万晓龙,刘瑞璟,时建超,等. 基于地震属性智能融合的湖相重力流沉积致密砂岩储层预测[J]. 石油科学通报, 2023, 8(1):1-11.
- WAN Xiaolong, LIU Ruijing, SHI Jianchao, et al. Prediction of tight sandstone of lacustrine gravity-flow reservoirs using intelligent fusion of seismic attributes[J]. Petroleum Science Bulletin, 2023, 8(1):1-11.
- [34] WANG W R, YUE D L, ZHAO J Y, et al. Diagenetic alteration and its control on reservoir quality of tight sandstones in lacustrine deep-water gravity-flow deposits: a case study of the Yanchang Formation, southern Ordos Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2019, 110:676-694.
- [35] 吴胜和,纪友亮,岳大力,等. 碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1):12-22.
- WU Shenghe, JI Youliang, YUE Dali, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in clastic deposits[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1):12-22.
- [36] 於崇文. 揭示地质现象的本质与核心:地质作用与时-空结构[J]. 地学前缘, 2000(1):2-12.
- YU Chongwen. Revealing the essence and crux of geological phenomena: geological processes and spatio-temporal structures[J]. Earth Science Frontiers, 2000(1):2-12.
- [37] 张佳佳,吴胜和. 海底扇朵叶沉积构型研究进展[J]. 中国海上油气, 2019, 31(5):88-106.
- ZHANG Jiajia, WU Shenghe. Research progress on the depositional architecture of submarine-fan lobes[J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(5):88-106.
- [38] 岳大力,吴胜和,谭河清,等. 曲流河古河道储层构型精细解剖:以孤东油田七区西馆陶组为例[J]. 地学前缘, 2008, 15(1):101-109.
- YUE Dali, WU Shenghe, TAN Heqing, et al. An anatomy of paleochannel reservoir architecture of meandering river reservoir: a case study of Guantao formation, the west 7th block of Gudong Oilfield[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1):101-109.
- [39] 张佳佳. 西非 OML130 区块海底扇朵叶体系构型模式研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2012.
- ZHANG Jiajia. Research on the architecture model of submarine lobe system: a case study of OML130 block offshore, West Africa[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2012.

(编辑 李娟)